

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

2017

Joonas Paloniemi

INTEGROIDUN ERILLISTUULETUKSEN KEHITTÄMINEN

Joonas Paloniemi

INTEGROIDUN ERILLISTUULETUKSEN KEHITTÄMINEN

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli jatkokehittää ABB Oy:n Motors and Generators -yksikön suunnitteluosastolle aiemmin tehdyn projektin tuloksena syntynyttä prototyyppiä integroidusta erillispuhaltimesta. Aiempi malli oli osoittautunut testeissä rakenteeltaan ja suorituskyvyltään liian heikoksi. Tarkoituksena oli jatkaa tätä projektia ja suunnitella puhaltimelle tukevampi rakenne tehokkaammalla puhaltimella ja tehdä sille tarvittavat testit, jotta tarvittavasta suorituskyvystä saadaan varmuus.

Suunnittelu aloitettiin keräämällä tietoa edellisen prototyypin tekijältä erillistuuletuksen nykytilasta ja keskustelemalla kokeneempien suunnittelijoiden kanssa, mistä kannattaisi lähteä liikkeelle. Aluksi luotiin muutamia luonnoksia vahvemmassa kannakkeesta ja muutamasta parhaimmalta vaikuttaneesta ideasta tehtiin piirustuksia, joilla kysyttiin tarjouspyyntöjä eri ratkaisujen kustannuksista. Näistä kilpailukykyisimmästä ja parhaaksi nähdystä ratkaisusta teetettiin prototyyppi. Prototyypille tehtiin ilmamäärä-, värinäta- ja äänitasomittaukset.

Työn tuloksena oli valmis prototyyppi, joka suoriutui kiitettävästi testeistä. Jatkossa tämän työn perusteella rakenne toteutetaan neljälle muulle moottorikoolle

ASIASANAT:

ABB, Moottorit, Generaattorit, Tuuletus, Kehittäminen

Joonas Paloniemi

DEVELOPMENT OF THE INTEGRATED SEPARATE COOLING

The aim of this thesis was to develop the prototype of an integrated separate cooling system made earlier for ABB Oy Motors and Generators's application engineering department as a part of a project. The existing prototype had been tested and was found out to be too weak and to have unsatisfactory performance values. The aim was to develop this solution further by reinforcing the system structure and adding a more powerful fan unit to the system and to have it tested to ensure the required performance values.

The design began with collecting information from the previous prototype designer about the current state of the separate cooling and discussing with senior designers about starting the new design. First some sketches from the new structure were made and after evaluating them, drawings were made from a couple of the best options. Requests for quotation were asked based on the drawings and a prototype was made from the most suitable and cost efficient option. The prototype went through airflow, vibration, and sound level tests.

The result was a functioning prototype of the integrated separate cooling system that passed the tests. Based on this prototype the design will be expanded to four other motor sizes in the future.

KEYWORDS:

ABB, Motors, Generators, Cooling, Fan

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	1
2 ABB OY	2
3 SÄHKÖMOOTTORIT	3
3.1 Oikosulkumoottori	3
3.2 Varianttikoodit	4
3.3 Erillistuuletus	4
4 TUULETINSUOJUKSEN SUUNNITTELU	6
4.1 Puhallin ja vaihtoehtoiset valmistajat	6
4.2 Tuuletinsuojus	6
4.3 Puhaltimen kiinnitys	7
4.3.1 Ensimmäinen malli	7
4.3.2 Toinen malli	9
4.4 FEM-analyysi	11
5 TESTIT	12
6 YHTEENVETO	16
LÄHTEET	17

KUVAT

Kuva 1. Sähkömoottorin rakenne. (Low voltage process performance motors 2016)	4
Kuva 2. Kiinnikkeen ensimmäinen malli päältä.	7
Kuva 3. Kiinnikkeen ensimmäinen malli sivulta.	8
Kuva 4. Kiinnikkeen ensimmäinen malli tuuletin asennettuna.	9
Kuva 5. Kiinnikkeen toinen malli.	10
Kuva 6. Tuuletinsuojuksen alhaisin ominaistajuus.	11
Kuva 7. Testimoottori erillispuhallin asennettuna.	12
Kuva 8. Ilmamäärien mittaus.	12
Kuva 9. Ripavälinopeuden mittaus	13
Kuva 10. Äänenpaineen mittauspisteet.	14
Kuva 11. Värinäsensoreiden kiinnitys tuuletinsuojassa.	14
Kuva 12. Värinäsensorin kiinnitys puhaltimen kiinnikkeeseen.	15

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe saatiin ABB Motors and Generators -yksikön sovellussuunnitteluosastolta. Työn tarkoituksena oli parantaa jo olemassa olevaa sähkömoottorin erillistuu-letinta, joka testeissä oli osoittautunut rakenteeltaan liian heikoksi, aiheuttaen värinäon-gelmia tuuletinmoottorin kiinnityskannakkeissa. Tuulettimen rakennetta oli tarkoitus vah-vistaa niin, että siitä aiheutuneista värinöistä päästäisiin eroon. Rakenteesta oli tarkoitus luoda samalla mahdollisimman helposti eri kokoluokkiin kopioitava. Uudella rakenteella oli tarkoitus suorittaa myös ilmamäärä-, äänitaso- sekä värinämittaukset tuulettimen riit-tävän suorituskyvyn varmistamiseksi.

Edellinen rakenne oli suunniteltu aiemmassa kehitysprojektissa, jossa oli tarkoitus siirtää eri tuuletusratkaisussa moottorin päällä ollut integroitu siipipyörä-moottori-paketti moot-torin takana aksiaalisesti olevaksi puhaltimeksi. Tämä ratkaisu korvaisi nykyisen erillisen omasta tuotannosta tulevan erillispuhallinmoottorin, jonka asennus on aikaa vievää ja jonka valmistus vie kapasiteettia pienmoottoreiden valmistuksesta. Jokainen erillispuhal-lin tilataan erillisenä tilauksena omasta tuotannosta ja vaatii asentaessa tasapainotuksen siipipyörän kanssa.

Uusi tuuletinsuojus olisi tarkoitus tilata valmiina pakettina, joka on helppo asentaa moot-torin perään ilman tasapainotusta kiinnittämällä vain neljä pulttia. Tämä nopeuttaisi eril-listuuletuksella olevien moottoreiden kokoonpanoa ja helpottaisi suunnittelutyötä.

2 ABB OY

ABB Oy on johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, joka toimii yli 100 maassa työllistäen noin 132 000 henkilöä, joista Suomessa noin 5100. Yhtymän tuotteet, palvelut ja järjestelmät parantavat ympäristömyönteisesti asiakkaiden kilpailukykyä.

Yrityksen pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zürichissä. Liikevaihto vuonna 2016 oli 33,8 miljardia dollaria. ABB on listautunut Zürichissä, Tukholmassa ja New Yorkissa. ABB:n kasvu perustuu sen teknologiseen voimaan ja vahvoihin paikallisiin juuriin, joita Suomessa edustaa Strömberg. ABB käyttää vuosittain yli miljardi euroa tuotekehitykseen. (ABB 2017a)

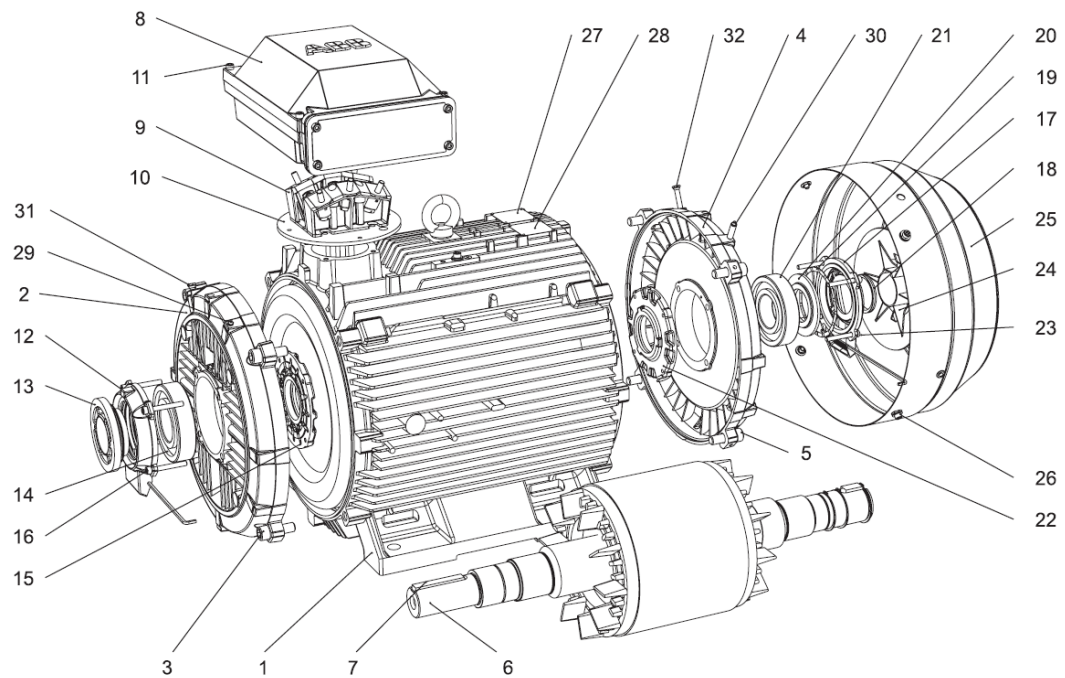
ABB Oy, Motors and Generators, Vaasa on Robotics and Motion -divisioonan Motors and Generators -liiketoimintayksikön tuotantoyksikkö, jolla on maailmanlaajuinen vastuu yhtiön pienjännitemoottoreiden valmistuksesta ja tuotekehityksestä vaativiin käyttöihin. Henkilöstöä Vaasassa on noin 530. (ABBb 2017b)

3 SÄHKÖMOOTTORIT

3.1 Oikosulkumoottori

Kolmivaiheinen oikosulkumoottori on sähköllä toimiva kone, joka muuttaa siihen syötetyn sähköenergian pyöriväksi mekaaniseksi energiaksi. Sen toiminta perustuu magneettikentän ja virrallisten johtimien väliseen vuorovaikutukseen. Moottorissa on kuparista käämitty staattori, joka synnyttää pyörivän magneettikentän, kun siihen syötetään sähkövirtaa. Staattori on puristettu staattorin rungon (1) sisään. Staattorin vastakappaleena on roottori, joka on kiinnitetty akseliin (6), josta mekaaniseksi muutettu energia voidaan siirtää moottorista ulos. Staattorissa syntyvä magneettikenttä pyörittää roottoria, joka pyörii eri epätahdissa staattorin synnyttämän magneettikentän kanssa. Pyörimisnopeutta voidaan säätää magneettikentän napaisuutta vaihtamalla.

Näiden aktiiviosiksi kutsuttujen osien lisäksi moottorissa on myös passiivisia osia, joista tärkeimmät ovat rungon päätyihin kiinnitetyt laakerikilvet (2,4), joilla akseli on laakeroitu runkoon laakereiden (14,21) avulla. Staattorin käämien johtimet on johdettu pääliitäntäkoteloon (8) moottorin päälle. Moottorin oma tuuletin (24) on kiinnitetty akselin toiseen päähän, jota kutsutaan N-pääksi. Vastaavasti moottorin toista päätä, jossa on akselitappi ja kiila (7), kutsutaan D-pääksi. Osien paikat ovat merkittynä kuvassa 1. (Aura & Tonteri, 1996, 120—121)



Kuva 1. Sähkömoottorin rakenne. (Low voltage process performance motors 2016)

3.2 Varianttikoodit

Varianttikoodit ovat kolminumeroisia koodeja, joilla asiakas voi tilata moottoriinsa erikoisominaisuuksia ja sekä optioita (ABB 2016, 38—42). Varianttikoodia on tällä hetkellä noin 600. Näiden lisäksi asiakkaan on mahdollista tilata moottoriinsa myös ominaisuuksia ja optioita varianttikoodien tarjonnan ulkopuolelta käyttämällä varianttikoodia +999, jonka vapaaseen kenttään asiakas voi kirjoittaa haluamansa lisäyksen.

ABB:n tietokannoista löytyy joka varianttikoodista tieto, mitä ominaisuuksia kyseessä olevalla varianttikoodilla moottoriin halutaan. Joillekin varianttikoodille löytyy tarkempi kuvaus siitä, mitä ominaisuuksia kyseisellä varianttikoodilla saadaan.

3.3 Erillistuuletus

Moottorin pyörimisnopeuden jäädessä pieneksi, ei moottorin oman tuulettimen tuottama ilmavirta riitä jäähdyttämään moottoria. Tällöin joudutaan käyttämään erillistä tuuletinta, joka pyörii vakionopeudella tuottaen riittävän ilmavirran moottorin tehokkaaseen jäähdytykseen itse moottorin kierrosluvusta riippumatta. Erillistuuletukseen on tällä hetkellä

saatavilla kolmea eri ratkaisua: erillistuuletus omalla moottorilla aksiaalisesti N-päässä, erillistuuletus omalla moottorilla moottorin päällä sekä erillistuuletus päällä integroidulla puhaltimella. (ABB 2016, 74)

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus luoda perusta sille, että integroitu erillistuuletus saataisiin tuotua myös aksiaalisesti N-päähän.

4 TUULETINSUOJUKSEN SUUNNITTELU

Suunnittelun lähtökohtana oli aiemmin suunniteltu prototyyppi, jolla oli ajettu jo aiemmin koestukset, mutta tulokset eivät olleet tarpeeksi hyvät. Edellinen prototyyppi oli suunniteltu kokoluokkaa pienemmällä tuulettimella ja koestustuloksista huomattiin, että sen ilmamäärä ei riittänyt kaikista pisimmälle kokoluokan moottorille. Koestuksien jälkeen resurssit tuuletuksen kehittämiseen loppuivat.

4.1 Puhallin ja vaihtoehtoiset valmistajat

Puhaltimelle etsittiin myös vaihtoehtoisia valmistajia, nykyisen Ziehl-Abeggin valmistaman puhaltimen tilalle, koska halutaan välttää oman tuotannon riippuminen yhden toimittajan tuotteen varassa. Tarkoituksena oli löytää korvaava puhallin, jota voidaan käyttää nykyisen tilalla pienillä muutoksilla, mikäli puhaltimen saanti jostain syystä loppuu. Sopivia puhallinvalmistajia etsittiin internetistä, sekä osaksi etsinnässä hyödynnettiin tuotekehitysosaston jo aiemmin tekemiä tutkimuksia eri puhallinvalmistajista. Etsinnän tuloksena löytyi muutamia sopivia puhaltimia.

EBM-papst valmistaa lähes vastaavia puhaltimia, kuin nykyiset Ziehl-Abeggin puhaltimet. Puhaltimessa on samankaltainen kiinnitys, kun nykyisessä, ja se on helppo kiinnittää tekemällä kiinnikkeeseen hyvin pieniä muutoksia. Lisätietoa puhaltimista löytää osoitteesta www.ebmpapst.fi.

Rosenberg GmbH valmistaa myös lähes vastaavia puhaltimia, kuin nykyinen. Tuuletin ei eroa kiinnitykseltään nykyisestä, kuin joissain kokoluokissa. Kokoluokissa, joissa kiinnitys on erilainen, tarvittavat muokkaukset ovat hyvin pieniä. Lisätietoa puhaltimista löytää osoitteesta www.rosenberg-gmbh.com.

4.2 Tuuletinsuojus

Tuuletinsuojan suunnittelun lähtökohdaksi otettiin aiemmat erillistuuletuksen tuuletinsuojat, joissa on hyödynnetty vakiomallista tuuletinsuojusta, jota on pidennetty lisäämällä

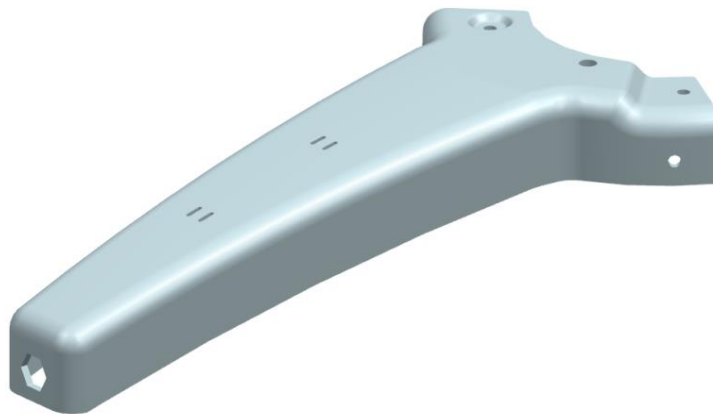
lieriömäinen peltiosa moottorin ja tuuletinsuojan väliin. Tuuletinsuojan suunnitteluun käytettiin yrityksen käytössä olevaa Siemens PLM NX 8 -ohjelmaa ja siihen liitettyä Teamcenter 8 -tuotetiedon hallintajärjestelmää.

4.3 Puhaltimen kiinnitys

4.3.1 Ensimmäinen malli

Uuden puhaltimen kiinnikkeen lähtökohdaksi otettiin vanha puhaltimen kiinnitin, jota oli tarkoitus vain vahvistaa lisäämällä materiaalin paksuutta. Tämä vaihtoehto todettiin kuitenkin heti sopimattomaksi, joten siirryttiin suunnittelemaan uudenlaista kiinnikettä.

Uutta kiinnikettä ideoidessa päätettiin, että kiinnikkeen tulee olla kaksoiskaarevan muotoinen, jotta saavutettaisiin tarvittava jäykkyys tuulettimen kiinnitykseen. Lisäksi kappaleen tuli olla edullinen valmistaa. Kiinnikkeen poikkileikkaus radiaalisesti katsottuna tulisi olla kaareva, jotta kappaleeseen ei jäisi suuria suoria pintoja, kuten vanhaan kiinnikkeeseen. Tämän perusteella ryhdyttiin suunnittelemaan ohutlevykiinnikettä, joka valmistettaisiin ohutlevystä muotoilemalla. Suunnittelun lopputuloksena syntyi kuvissa 2 ja 3 näkyvä kiinnike.



Kuva 2. Kiinnikkeen ensimmäinen malli päältä.

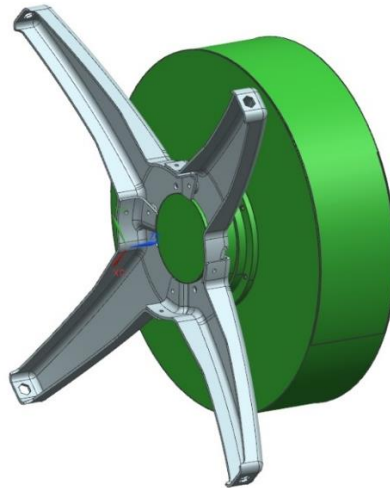
Kiinnike on kaareva sivulta katsottuna, ja se on joka suuntaan kaareva, jolloin rakenne on erittäin tukeva, eikä se pääse värisemään. Kiinnike on prässätty 3 millimetrin paksuisesta ohutlevystä. Kiinnikkeen keskellä on reiät, joihin tuulettimen virtakaapeli on helppo

kiinnittää siteillä. Kiinnike suunniteltiin mahdollisimman kompaktiksi, että siitä jäisi mahdollisimman vähän materiaalihävikkiä valmistettaessa. Kiinnikkeeseen saatiin myös paljon jäykistäviä taiteita, jotka jäykistävät kiinnikettä aksiaalisuunnassa (Teknologiateollisuus 2010, 133).



Kuva 3. Kiinnikkeen ensimmäinen malli sivulta.

Kiinnike suunniteltiin siten, että neljä kappaletta kootaan yhteen, jolloin muodostuu kuvassa 4 nähtävä yksi suurempi kiinnike, johon puhallin asennetaan. Kiinnike suunniteltiin siten, että tuulettimen alumiinirunko tukee rakennetta ja toimii vahvikkeena. Kokoamiseen käytetään vain niittejä, jolloin vältetään kokonaan hitsaukselta, joka on kallista valmistettaessa ja altis värinästä aiheutuville murtumille (Teknologiateollisuus 2010, 275). Kiinnikkeen päihin tehtiin reiät niittimuttereiden asennusta varten. Niittimuttereiden avulla kiinnike on helppo kiinnittää tuuletinsuojaan ruuvaamalla ulkopuolelta neljä ruuvia kiinni.



Kuva 4. Kiinnikkeen ensimmäinen malli tuuletin asennettuna.

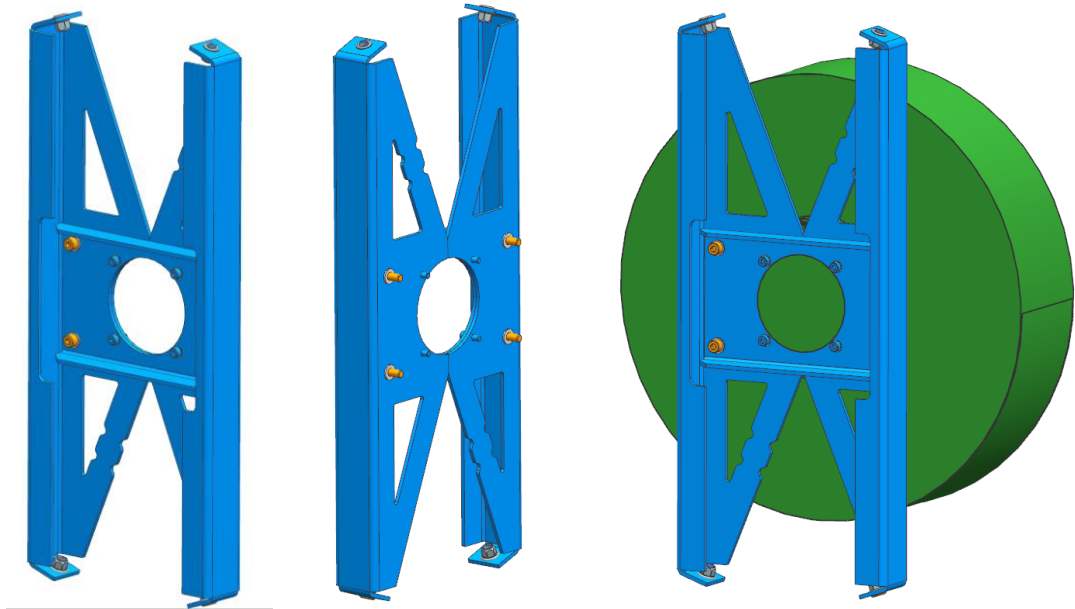
Tästä kiinnikkeestä tehtiin valmistuspiirustukset, joilla kysyttiin tarjouspyyntöä ohutlevyosien toimittajalta. Tarjouspyyntöön ei lukuisista yhteydenotoista huolimatta saatu muuta vastausta kuin että kyseinen yritys ei voinut antaa osista tarjousta sen vaatimien valmistustekniikoiden takia. Muuta selitystä tai vastausta siihen, miksi osien valmistus ei heidän yrityksessään onnistu, ei saatu. Tämän jälkeen arvioitiin työkalujen hinnan olevan joka tapauksessa liian korkea ja tämä malli hylättiin.

4.3.2 Toinen malli

Seuraavaa kannaketta ryhdyttiin suunnittelemaan ohutlevystä siten, että rakenne olisi mahdollisimman yksinkertainen ja erilaisia osia olisi mahdollisimman vähän, eikä se vaatisi erillisiä työkaluja. Osien kiinnityksen tulisi olla myös mahdollisimman yksinkertainen ja hitsiliitoksia haluttiin edelleen välttää kustannusten ja värinöiden vuoksi. Päätettiin, että kappale tulisi voida valmistaa laserleikkurilla ja särmäyspuristimella. Nämä työkalut löytyvät lähes jokaiselta ohutlevyosien toimittajalta, eikä näin ollen synny kalliita työkalukustannuksia. Lisäksi kappaleeseen on helpompi ja halvempi tehdä muutoksia, mikäli tuuletinmalli vaihtuu.

Toisessa mallissa päädyttiin seuraavaan malliin, joka valmistetaan särmäyspuristimella laserleikatuista aihioista. Osien muodot on optimoitu niin, että levyhukka olisi mahdollisimman pieni ja erilaisia osia mahdollisimman vähän. Rakenne koostuu kahdesta samanlaisesta pystykiinnikkeestä ja ne yhdistävästä poikkituesta. Pystytuissa on koko matkalla taieputket, jotka parantavat tukien jäykkyyttä ja stabiiliutta (Teknologiateollisuus 2010,

133). Pystytukiin on tässäkin mallissa integroitu paikat tuulettimen virtakaapelin sidontaa varten. Myös poikkituessa on vastaavat taieet vaakasuunnassa, estäen taipumisen toisessa suunnassa. Osat suunniteltiin siten, että taieet ovat limittäin, jolloin rakenteeseen ei jää kohtia joihin syntyisi jännityshuippuja, jotka väsyisivät värinässä.



Kuva 5. Kiinnikkeen toinen malli.

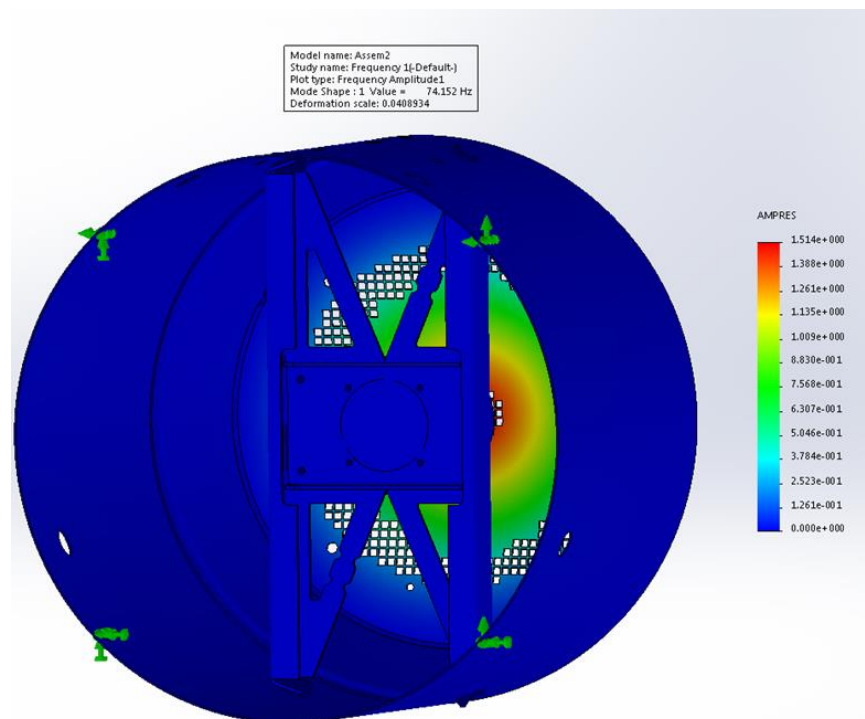
Myös tästä mallista tehtiin valmistuspiirustukset ja kysyttiin tarjousta toimittajalta. Tällä kertaa tarjouspyyntöön vastattiin ja osat oli mahdollista valmistaa. Hintaluokka oli sama, kuin edellisessä mallissa. Tästä mallista päätettiin tehdä vielä FEM-analyysi ja niiden tulosten ollessa hyviä, tilata prototyyppi.

4.4 FEM-analyysi

Edellisessä mallissa havaittujen värinäongelmien välttämiseksi laskettiin uuden mallin ominaistajuuudet tietokoneella ennen prototyypin tilaamista. Laskentaan käytettiin koululta löytyvää SolidWorks Simulation -ohjelmaa.

Laskentaa varten osat tuotiin yrityksen tuotehallintajärjestelmästä ulos step-muodossa, koska mallinnus- ja simulaatio-ohjelmien tiedostomuodot eivät olleet keskenään yhteensopivia. Osia myös yksinkertaistettiin laskennan helpottamiseksi.

Laskennan tulokseksi saatiin tuuletinsuojan alhaisimmaksi ominaistajuuudeksi kuvassa 6 näkyvä 74,2 Hz ja neljäksi seuraavaksi kerrannaistajuuksiksi 76,6, 94,8, 115,3 ja 125,9 Hz. Taajuuksien todettiin olevan tarpeeksi korkeita, ettei tuuletinsuoja resonoi tuuletin tai moottorin kanssa.



Kuva 6. Tuuletinsuojuksen alhaisin ominaistajuuus.

5 TESTIT

Kaikille tuuletinsuojille suoritettiin Ilmamäärä-, äänitaso- ja värinämittaukset yrityksen omalla testikentällä. Mittaukset suoritettiin kiinnittämällä tuuletinsuojus oikean runkokoon moottoriin kuvan 6 osoittamalla tavalla. Tarvittavat testimoottorit lainattiin tuotekehitys-osaston omista prototyypimoottoreista, jotka olivat mittaukseen soveltuvia ja käytettävissä. Mittaukset suoritettiin käyttämällä vain tuuletinmoottoria, päämoottori toimi pelkästään kiinnitys- ja mittausalustana, eikä sitä kytketty päälle missään vaiheessa mittauksia.



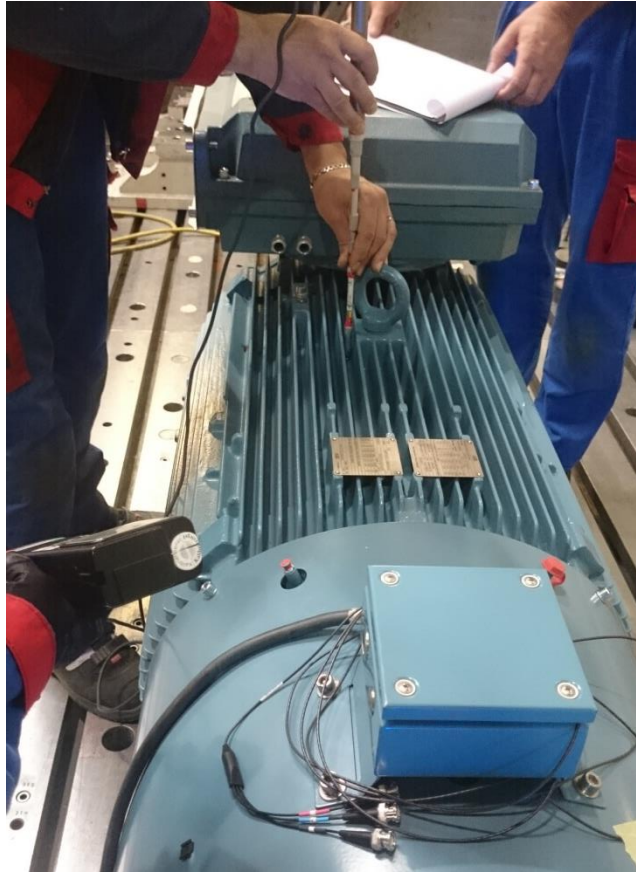
Kuva 7. Testimoottori erillispuhallin asennettuna.

Ilmamäärämittauksiin sisältyi puhaltimen läpi kulkevan ilmamäärän ja sen nopeuden mittaukset. Mittaukset tehtiin mittaamalla ilman virtausnopeus mittauskartiossa ja laskeamalla sen avulla kartion läpi kulkenut ilmamäärä.



Kuva 8. Ilmamäärien mittaus.

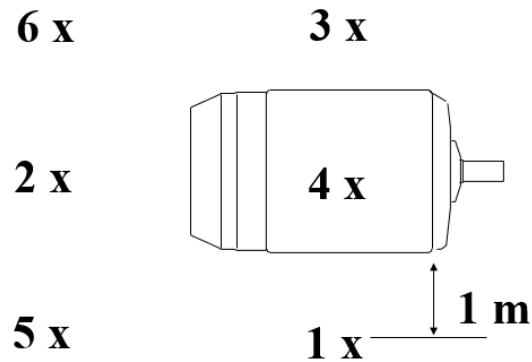
Ilmamäärämittauksiin sisältyi myös moottorin ripavälinopeuden mittaaminen, jossa ilman virtausnopeus mitattiin moottorin jäähdytysripojen välistä keskeltä moottoria.



Kuva 9. Ripavälinopeuden mittaaminen

Äänenpainetestit suoritettiin mittaamalla puhallinmoottorin tuottama äänitaso desibelimittarilla kuudesta mittauspisteestä kuvan 10 osoittamissa kohdissa standardin

ISO3744 mukaan. Piste 4 on metrin etäisyydellä moottorin yläpuolella. Pisteet 5 ja 6 ovat mittauspinnan ylänurkissa.



Kuva 10. Äänenpaineen mittauspisteet.

Väriämittaukset suoritettiin mittaamalla värinät värinämittarilla puhallinmoottorin kiinnikkeestä sekä tuuletinsuojasta moottorin kiinnikkeiden kohdasta kuvassa 11 näkyvistä neljästä eri pisteestä. Väriämittauksia varten moottori kiinnitettiin kiinteästi testitasoon. Väriä mitattiin puhaltimen kiinnikkeestä ajamalla puhallinmoottoria taajuusmuuttajalla 0-60 Hz alueella. Tuuletinsuojasta värinät mitattiin tasomittauksena puhaltimen nimellistaajuuksilla 50 ja 60 Hz.



Kuva 11. Väriäensoreiden kiinnitys tuuletinsuojassa.

Erityistä huomiota kiinnitettiin tuulettimen kiinnikkeeseen, jossa oli edellisessä mallissa ilmennyt värinäongelmia.



Kuva 12. Värinäsensorin kiinnitys puhaltimen kiinnikkeeseen.

6 YHTEENVETO

Rakenteen kehittämisen tuloksena saatiin toimiva rakenne erillispuhaltimelle. Testeissä mitattu ilmamäärät olivat paremmat kuin moottorin oman tuulettimen tuottama ilmamäärä ja parempi kuin nykyisen erillispuhallinratkaisun. Myös äänenpainemittauksien tulokset jäivät alle sallitun rajan. Testeissä ei myöskään havaittu ongelmia puhallinpaketin värinöiden kanssa, ja aiemmassa mallissa havaitut ongelmat tuulettimen kiinnityksessä oli saatu poistettua. Työn aiheutta jouduttiin rajaamaan työn edetessä alkuperäisestä suunnitelmasta suunnitella rakenne neljään muuhunkin runkokokoon, aikataulun venyessä. Työn arvo työn tilaajalle väheni aiheen rajauksen ja aikataulun venymisen vuoksi ja työ päätettiin lopulta rajata vain yhteen runkokokoon. Muiden kokoluokkien rakenteiden suunnittelua jatkekaan erillisenä projektina.

LÄHTEET

ABB 2016, Low voltage Process performance motors according to EU MEPS -luettelo 3/2016

ABB, 2017a. Quarterly results and annual reports, Viitattu 8.6.2017, <http://new.abb.com/investorrelations/quarterly-results-and-annual-reports-2016>

ABB, 2017b. ABB Oy, Motors and Generators, Viitattu 8.6.2017 <http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/yksikot/motors-and-generators>

Aura, L. & Tonteri A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. WSOY

Teknolohiateollisuus ry 2010, Ohutlevy tuotteiden suunnittelijan käsikirja, Teknologiainfo teknova